

**ilmedia**

  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

---

*Bergmann, Sören:*

***Automatische Generierung adaptiver und lernfähiger Modelle  
zur Simulation von Produktionssystemen***

---

*Publikation entstand im Rahmen der Veranstaltung:*  
Doctoral Consortium im Vorfeld der 10. Internationalen Tagung  
Wirtschaftsinformatik 2011, Kolloquium für Doktoranden der  
Wirtschaftsinformatik, 14. und 15. Februar 2011, Zürich  
8 S.

# Automatische Generierung adaptiver und lernfähiger Modelle zur Simulation von Produktionssystemen

Sören Bergmann  
Fachgebiet Wirtschaftsinformatik für Industriebetriebe  
Technische Universität Ilmenau  
Helmholtzplatz 3 (Oeconomicum)  
98684 Ilmenau  
+49 (0) 3677 - 69 4045  
soeren.bergmann@tu-ilmenau.de

## ABSTRACT

In diesem Beitrag wird ein Ansatz zur automatischen Modelgenerierung und -adaption vorgestellt. Augenmerk liegt vor allem auf der Einsatzmöglichkeit im gesamten Produkt- bzw. Produktionslebenszyklus sowie bei der Integration in die betriebliche IT Infrastruktur, dazu wird auf standardisierten Datenaustausch mittels des Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) Information Model gesetzt. Weitere Kernpunkte stellen die automatische Validierung und die Beschreibung bzw. Ermittlung von Steuerstrategien, z.B. Reihenfolgeregeln in Puffern, die Speicherung von manuell ergänzten Objekten/Verhalten und die Modellinitialisierung, dar. Die Beschreibung einer ersten prototypischen Implementierung einzelner Aspekte in Plant Simulation runden den Beitrag ab.

## Keywords

Simulation, Modellgenerierung, Modelladaption, CMSD, automatische Validierung.

## 1. Einleitung und Motivation

Simulation wird in unterschiedlichsten Disziplinen und Anwendungsfeldern eingesetzt, z.B. Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften, Medizin und Biologie, Simulation von technischen Systemen, Simulation von Verkehrssystemen oder auch Simulation in Produktion und Logistik. „Die Simulationstechnik stellt heute ein anerkanntes Hilfsmittel bei der Planung, Bewertung und Überwachung von Prozessen in Produktion und Logistik dar. Sie dient der Absicherung von Lösungskonzepten, zur Aufdeckung von Rationalisierungspotentialen und hilft zunehmend auch bei kurzfristiger Entscheidungsfindung in betrieblichen Abläufen.“ [1] Dabei kommt die Simulation sowohl in der strategischen Planung als auch im operativen Betrieb zum Einsatz. Einsatzgebiete der diskret-ereignisgesteuerten Simulation (Ablauf- oder

Materialflusssimulation) sind unter anderem [2]:

1. Planungsunterstützung (Dimensionierung, Organisations-/ Prozessgestaltung usw.)
2. Einsatz während der Inbetriebnahme eines Systems (Emulation für Softwaretests, Schulung usw.)
3. Betriebsunterstützung (simulationsbasierte Fertigungssteuerung [3], Frühwarnsysteme[4], usw.)

Beim Anwendungs- und Verbreitungsgrad sowie bei vorhandenem Know-How in Unternehmen ist jedoch eine klare Trennung zwischen großen OEMs und KMUs festzustellen [4].

Unabhängig vom Anwendungskontext der Simulation ist festzuhalten, dass es notwendig ist, die Realität im Modell adäquat abzubilden, um an einem Simulationsmodell zu hinreichend genauen Aussagen über das modellierte Realsystem zu kommen [2]. Das heißt, die Qualität der Aussagen, die mittels der Simulation getätigt werden, hängen direkt von der Qualität des Modells ab. Dabei ist der Prozess der Modellerstellung sehr zeitaufwendig und erfordert in der Regel einen Simulationsexperten [5]. Zudem ist der gesamte Bereich der Simulation als eine interdisziplinäre Technologie zu verstehen, die aufgrund ihrer Komplexität und Anwendung ein ausgeprägtes Expertenwissen unterschiedlicher Teilbereiche, von der Informatik über die Betriebswirtschaftslehre bis hin zu Maschinenbau und Statistik, erfordert. Somit hängt der gesamte erreichbare Nutzen stark von der Verfügbarkeit sowie den Fähigkeiten und Fertigkeiten des modellierenden Simulationsexperten ab [6].

In diesem Sinne werden als künftige Herausforderungen in der Modellierung und Simulation komplexer Produktionssysteme unter anderem die Reduzierung des zeitlichen Aufwandes bei der Durchführung von Simulationsstudien sowie die Anbindung der Simulation an die reale Produktion gesehen [7], [8].

Dabei ist ausgehend vom klassischen Ablauf einer Simulationsstudie, wie bspw. in der VDI Norm 3366-1 [2] beschrieben, das größte Potential für eine zeitliche Straffung einer Simulationsstudie bei der Modellbildung und Validierung zu sehen. Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass allein auf die Teilaufgaben Datenaufbereitung, Modellerstellung und Verifizierung und Validierung zwischen 41%, nach Acél [9], und 55%, nach Müller-Sommer [10], entfallen. Weiteres Potential wird je nach Anwendungsfall in einer automatischen Modellinitialisierung vermutet.

Zur Vorstellung des Konzeptes zur automatische Generierung adaptiver und lernfähiger Modelle zur Simulation von Produktionssystemen wird im Anschluss der Einleitung und Motivation auf den aktuellen Stand der Forschung im Bereich Simulationsmodellgenerierung eingegangen, darauf aufbauend wird gezeigt in welchen Bereichen der Autor größten Forschungsbedarf sieht. Im 3. Kapitel wird das allgemeine Konzept skizziert und auszugsweise auf einzelne Lösungskomponenten eingegangen. Ein kurzes Fazit und ein Ausblick auf die nächsten Arbeitsschritte runden das Paper ab.

## 2. Ausgangslage und Problemstellung im Betrachtungsbereich

Eine Möglichkeit um einige der schon genannten künftigen Herausforderungen der Simulation von Produktionssystemen zu begegnen, stellt unbestritten die (teil-)automatische Modellgenerierung dar [6], [11].

Dabei werden allgemein unter dem Begriff der (teil-)automatischen Modellgenerierung im Simulationskontext Ansätze verstanden, bei denen ein Simulationsmodell nicht manuell mit den Modellierungswerkzeugen des Simulators erzeugt wird, sondern vielmehr über Schnittstellen und Algorithmen aus externen Datenquellen generiert wird. Man spricht daher auch von „datengetriebener Modellgenerierung“ [5], [12].

Ansätze zur Modellgenerierung allgemein aber auch zur datengetriebenen Modellgenerierung sind als Idee nicht neu und werden seit über 15 Jahren verfolgt. Gerade in den letzten Jahren

wurden diverse Ansätze im Kontext Modellgenerierung veröffentlicht, wobei die meisten Beiträge im Rahmen diverser Dissertationsprojekte im Automotiv Sektor entstanden sind[6], [11].

Nach Analyse der Publikationen lässt sich sagen, dass einige praxistaugliche Ansätze existieren Simulationsmodelle zumindest teilautomatisiert zu generieren. Diese sind aber durchweg auf ein bestimmtes und somit eingeschränktes Szenario (Gewerk, Untersuchungsziel, u.ä.) zugeschnitten. Zudem ist eine strikte Trennung in planungsbegleitende und betriebsbegleitende Ansätze zu attestieren, hybride durchgängige Ansätze werden nicht diskutiert (vgl. Abbildung 1).

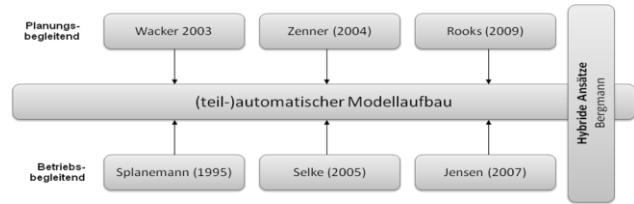


Abbildung 1: Abgrenzung nach Ansatz der Modellbildung

Vor allem die Generierung von Steuerungsstrategien wird zumeist vernachlässigt, allein Selke, Gyger und Reinhard betrachtet erste Möglichkeiten der Ermittlung lokaler Steuerstrategien im Kontext der Modellgenerierung mittels Verfahren des Data Mining auf Daten der Betriebsdatenerfassung (BDE) [13], [14]. Ähnliche Ansätze verfolgen beispielsweise Xiaonali und Olofson [15], aber nicht mit dem Fokus Modellgenerierung.

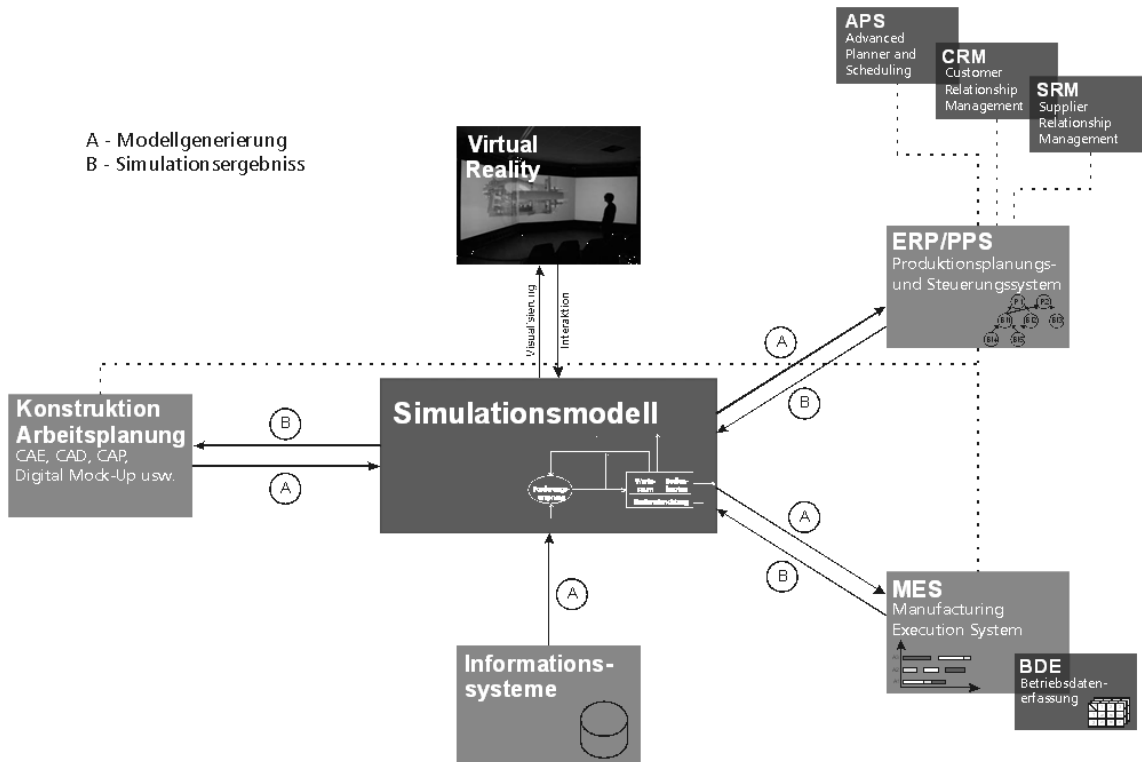


Abbildung 2: Simulation im Kontext der Fabrik- und Fertigungsplanung sowie Produktionssteuerung [11]

Die technischen Umsetzungen sind sehr heterogen, keiner der Ansätze baut direkt auf technischen Lösungen der „Vorgänger“ auf. Eine Abstraktion von bestimmten Datenquellen erfolgte meist ebenso nicht wie von einem bestimmten Simulator.

Für die „datengetriebene Modellgenerierung“ existiert ein breites Spektrum an potentiell geeigneten externen Datenquellen und zugehörigen IT-Systemen (vgl. Abbildung 2).

Im Kontext der Planungswelt der digitalen Fabrik sind als Datenquellen insbesondere Prozessplanungs- und Layoutgestaltungswerkzeuge von Interesse (z.B. Siemens Process Designer/Simulate, Delmia Process Engineer). Im Falle des Einsatzes der Simulation zur Unterstützung des operativen Betriebes einer Fabrik kommen weitere betriebliche Informationssysteme (ERP/PPS, MES) als wichtige Datenquellen hinzu. Besonderes Augenmerk muss hierbei auf die Entwicklung von Methoden und Techniken zur Integration in die jeweilige IT-Infrastruktur des Unternehmens gelegt werden, um eine gewisse allgemeine Einsatzfähigkeit zu gewährleisten. Das Konzept der Digitalen Fabrik bietet mit ihrer einheitlichen und zentralen Datenhaltung optimale Voraussetzungen für einen Datenzugriff und -export [16], für die Integration der Simulation und der Modellgenerierung sowie die Initialisierung der Simulationsexperimente. Zurzeit kann man in der Praxis aber bei weitem noch nicht von der vollständigen Umsetzung der Digitalen Fabrik ausgehen.

Selke schreibt zutreffend in seiner Dissertation „viele Ansätze haben gezeigt, dass die automatische Modellgenerierung im Rahmen der betriebsbegleitenden Simulation geeignet ist, die Effizienz bei der Erstellung von Simulationsmodellen zu erhöhen. Vielfach fehlen den Ansätzen Allgemeingültigkeit, dennoch kann festgehalten werden, dass die Kopplung mit anderen betrieblichen Informationssystemen ein wesentlicher Bestandteil der automatischen Modellgenerierung sein muss“ [13].

Gerade die Initialisierung von Simulationsexperimenten stellt einen nicht zu unterschätzenden Aufwand dar und bietet, abhängig von der Häufigkeit der Experimente, enorme Einsparpotenziale, z.B. beim Einsatz der Simulation zur Produktionssteuerung, als Frühwarnsystem usw. Unter Initialisierung versteht man dabei die Art und Weise wie Simulationsmodelle gestartet und die modellinternen Kontrollstrukturen mit Startwerten belegt werden, so dass nach erfolgter Initialisierung des Simulationsmodells der gegenwärtige Zustand eines realen Systems mit hinreichender Genauigkeit zu Prognosezwecken repräsentiert wird [17]. Dabei ist zu bemerken, dass gerade die Abbildung des Gesamtzustandes eines Systems (inklusive Work in Progress) keinesfalls trivial und in der Anwendung gelöst ist.

Ziel muss es sein, nicht nur wie bisher in allen Ansätzen implementiert technische Daten (Anlagentopologie und einzelne Systemkomponenten) sowie Organisationsdaten (Arbeitszeitdefinition, Ablauforganisation inklusive Fertigungssteuerung, Informationsflüsse und Ressourcenzuordnung) zu betrachten, sondern auch Systemlastdaten bestehend aus Auftrags- Produkt- und Ergebnisdaten in das Datenmodell mit aufzunehmen.

Sowohl für die Generierung der Modelle als auch für die Initialisierung und Ergebnispräsentation werden in allen Ansätzen eigene Formate entwickelt. Klar zu erkennen sind aber Tendenzen zur Verwendung von XML. Auf die Anwendung von Standards wurde bisher aber weitestgehend verzichtet [6], [11].

Ein aktueller Trend in der Forschung geht dahin, Methoden zu entwickeln, die die Qualität der Daten verbessern, die für die Modellgenerierung genutzt werden. Dazu werden Daten plausibilisiert und ggf. „Ersatzwerte“ generiert, z.B. aus vergleichbaren Szenarien der Vergangenheit. Fokus liegt hierbei aber auf planungsbegleitenden Anwendungen, da diese besonders in frühen Phasen mit lückenhaften und ungenauen, da oftmals geschätzten, Daten zu kämpfen haben [9], [18].

Verifikation und Validierung von Simulationsmodellen spielt in allen Spielarten der Simulation, unabhängig von der Simulationemethode, der Methode zur Erzeugung der Modelle oder des zu simulierenden Systems usw., eine entscheidende Rolle. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass gerade bei Methoden, die automatisch ohne direkte menschliche Kontrolle Inhalte jegliche Art generieren, besonderes Augenmerk auf die Prüfung dieser gelegt werden sollte. Dies gilt auch und im speziellen für Modelle, die automatisch generiert wurden. Dabei wird in Anlehnung an Rabe, Spieckermann und Wenzel in dieser Arbeit unter der Validierung von Simulationsmodellen die „[...] Überprüfung, ob die Modelle das Verhalten des abgebildeten Systems hinreichend genau wiedergeben“ verstanden [18]. Einigkeit herrscht seit Jahrzehnten über die große Bedeutung der Validierung für Simulationsstudien [19], [20], auch einzelne Testverfahren zur Validierung sind dokumentiert [21]. Bisher nicht bzw. mangelhaft untersucht sind Möglichkeiten V&V Testverfahren ganz oder zumindest teilweise zu automatisieren und somit zu objektivieren.

Um die Herausforderungen der Simulation zu meistern, kann nicht zielführend sein, nur den Simulationsexperten bei der Modellierung zu ersetzen (oder zu mindestens zu entlasten). Um Kosten zu senken, Zeit zu sparen und eine bessere und regelmäßige simulationsbasierte Absicherung zu ermöglichen, muss auch die Validierung automatisch erfolgen oder zumindest so unterstützt werden, dass der Planer in die Lage versetzt wird, die Glaubwürdigkeit schnell und selbstständig einzuschätzen.

Von der Automatisierung verspricht man sich darüber hinaus vor allem Vorteile bzgl. der benötigten Zeit, als auch durch die Objektivierung positive Auswirkungen auf die Glaubwürdigkeit der Ergebnisse der Simulationsstudie.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass folgende Fragen bisher unvollständig beantwortet oder ganz außer Acht gelassen wurden:

- Wie kann ich ausreichend genaue! Simulationsmodelle schnell und kostengünstig ohne ausgesprochenen Simulationsexperten erzeugen?
- Wie muss ein Modell bzw. eine Modellierungsmethodik gestaltet sein um eine automatische Modellgenerierung sowie Modelladaption zu gewährleisten?
- Wie kann ich diese einmal erstellten Modelle pflegen und somit im gesamten Produktlebenszyklus nutzen?
- Wie kann die Qualität eines automatisch generierten Simulationsmodells einer Fertigung auch langfristig erhalten bzw. laufend verbessert werden?
- Wie kann sichergestellt werden, dass sich das Modell an Veränderungen der Realwelt zeitnah anpasst?
- Wie kann Modellqualität beurteilt werden? Welche automatisierbaren Mechanismen der Validierung und Verifikation sind geeignet?

- Welche Informationssysteme sind als Datenquellen für die Modellgenerierung/-adaption geeignet? Welche Bedingungen werden dabei an die Informationssysteme gestellt? Wie kann eine Integration der Informationssysteme und der Simulation erfolgen? Wie muss der Datenaustausch gestaltet werden.
- Wie kann ich bei der Nutzung der Modelle den Planer (Fabrikplaner bis Planer im operativen Betrieb) entlasten?

### 3. Zielsetzung der Arbeit/ inhaltliche und methodische Vorgehensweise

Ziel der Arbeit ist es, einen Beitrag zu den im letzten Abschnitt genannten offenen Fragen zu leisten. Die Analyse der Veröffentlichungen der letzten Jahre im Kontext automatische Modellgenerierung zeigt deutlich, dass dabei nicht nur die technische Komponente sondern, in nicht unerheblichem Maß, auch eine organisatorische Komponente eine entscheidende Rolle spielt. Zunächst soll kurz auf die organisatorische Komponente eingegangen werden.

#### 3.1 Das Angepasste Simulationsvorgehensmodell

Dieser Erkenntnis folgend, soll die in der Arbeit entwickelte Methodik ein angepasstes Vorgehensmodell für die nachhaltige Simulationsnutzung unterstützend zu der zu entwickelnden technischen Lösung enthalten.

Fokus liegt hierbei bei der konsequenten Weiterverwendbarkeit von einmal erstellten Simulationsmodellen. Dabei wird das klassische Vorgehensmodell erweitert, so müssen Phasen neu eingefügt bzw. bestehende angepasst werden, die die Modellanpassung, das wiederholte Validieren, Experimentgestaltung usw. betrachten.

Angestrebt wird von der Philosophie die Simulation als „einmaliges“ in sich geschlossenes Projekt zu betrachten zu einer Philosophie zu kommen, die Simulation als permanentes Werkzeug im Rahmen des gesamten Produkt- bzw. Produktionslebenszyklus ansieht.

#### 3.2 Simulationsrelevante Daten und Standardisierung

Voraussetzung für eine solche intensive Simulationsnutzung ist die Sensibilisierung aller an der Planung/Steuerung Beteiligten für die gesteigerten Anforderungen an Daten aber auch für die Möglichkeiten, die Simulation innerhalb der jeweiligen Aufgaben zusätzlich bietet. Gerade aber der sehr wichtige Punkt der Sensibilisierung ist sehr unternehmensspezifisch und wird deshalb nur am Rande in die Dissertation einfließen können. Betrachtungen der Anforderungen an Daten aus Sicht der Simulation, bzgl. der Art und Qualität sowie typische Datenquellen sowohl zur Planungs- als auch in der Betriebsphase, sind dagegen Basis der weiteren Lösung (Abbildung 2). Wichtige Vorarbeiten auf dem Gebiet Daten, Datenqualität und Datenplausibilisierung und Ergänzung fehlender Daten, wurden durch Rooks [22] in seiner Dissertation und Müller-Sommer [9] geleistet. Da beide Ansätze sich auf die Planungsphase einer Anlage bzw. sogar nur auf Teilaspekte der Planung (Materiallogistik) beziehen, ist eine analoge Betrachtung, vor allem der Daten innerhalb der Phase der Inbetriebnahme und des operativen Betriebs der Anlage, sinnvoll.

Grundlegend lassen sich in Anlehnung an Rooks und die VDI Norm 3633-1 alle simulationsrelevanten Daten in 4 Cluster zusammenfassen:

- Technische Daten; zur Beschreibung der Anlagentopologie, sowie der einzelnen Systemkomponenten (z.B. Layout, Verfügbarkeiten, Ausfallwahrscheinlichkeiten, Kapazitäten von Anlagen),
- Organisationsdaten; zur Definition der Arbeitszeit- und Ablauforganisation (inklusive der Fertigungssteuerung), Informationsflüsse und Ressourcenzuordnung (z.B. Schichtmodelle, Werkerzuordnungen, Pufferstrategien),
- Systemlastdaten; bestehend aus Auftrags- und Produktdaten (z.B. Stücklisten, Produktionsprogramm) und
- Experimentdaten, zur Beschreibung sonstiger relevanter Parameter (z.B. Simulationsdauer) [2], [22].

Zu bemerken ist, dass auch stochastische Daten enthalten sind, die Abbildung dieser muss auf jeden Fall adäquat gewährleistet werden.

Wie bereits im Kapitel 2 angemerkt, werden Standards im Kontext Simulation im Allgemeinen und Simulationsmodellgenerierung im Speziellen kaum genutzt. Ein wesentlicher Untersuchungsschwerpunkt ist daher, wie Daten bereitgestellt werden müssen, um möglichst alle Informationen adäquat abzubilden. Alle 4 Cluster müssen hierbei gleichermaßen betrachtet werden. Ein Fokus allein auf die Modellgenerierung, in der vor allem technische Daten und Organisationsdaten relevant sind, ist nicht sinnvoll, da gerade die einfache Integration der Simulation ein entscheidender Erfolgsfaktor ist [8], [13], [23]. An allgemein anwendbaren Beschreibungssprachen, die die Bedürfnisse der Simulation berücksichtigen, für Modelle [24] und vor allem auch an Standards zum Datenaustausch mangelt es lange Zeit.

Ein in ersten Untersuchungen evaluierter Standard, der geeignet scheint weitestgehend die vom Autor gestellten Anforderungen bzgl. dem Einsatz bei der Modellgenerierung, der Initialisierung des Modells, der automatischen Verifikation und Validierung als auch bei der Nutzung der Simulationsergebnisse und Integration in betriebliche IT Infrastrukturen zu erfüllen, ist der Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) Information Model Standard. [25], [26]

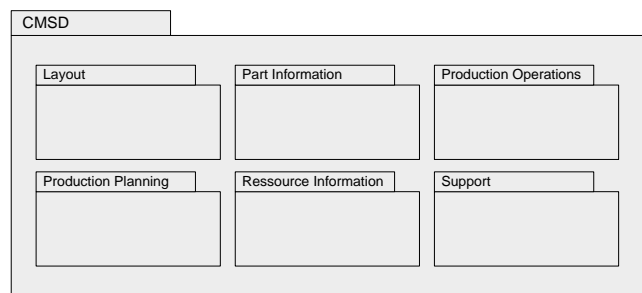


Abbildung 3: Pakete des CMSD Information Models [25]

Die im CMSD Information Model beschriebenen Datenstrukturen (Abbildung 3) können sowohl für die Simulation als auch für die reale Planung und Steuerung der Fertigungsabläufe genutzt werden und bilden die Grundlage der prototypischen Implementierung. Im weiteren Verlauf der Arbeit sind vor allem

offene Fragen bezüglich der Abbildung von Steuerstrategien (Kapitel 3.3.2) und Experimentdaten (Kapitel 3.3.4) im Standard zu diskutieren.

### 3.3 Das Framework zur Modellgenerierung und -adaption

Eine bestätigte Annahme ist, dass trotz aller Bemühungen die Qualität eines automatisch erzeugten Modells selten per se ausreichend ist. Positiv wirkt sich zwar eine gute Integration, Datenplausibilisierung usw. aus, das allein ist meist langfristig nicht ausreichend [11], [18].

Dies basiert zum einen auf wirklichen Modellierungsfehlern, aber vor allem auf einem Informationsdefizit, z.B. in der Planungsphase geschätzte Bearbeitungs- und Ausfallzeiten. Zusätzlich ist in vielen Produktionssystemen damit zu rechnen, dass sich relevante Parameter im Laufe der Zeit zum Teil beabsichtigt teils unbeabsichtigt ändern, solche Änderungen können beispielsweise auf Lerneffekten, Programmen zur kontinuierlichen Verbesserung, Anlagenverschleiß usw. beruhen.

Das zu konzipierte Framework (Abbildung 4) muss, über die bisher bereits diskutierten Punkte organisatorische Einbindung und Datenstandardisierung, die bisherigen Ansätze zur Modellgenerierung um Aspekte der Adaption, der Abbildung dynamischen Verhaltens, automatische Validierung und Integration in die betriebliche IT-Infrastruktur ergänzen bzw. erweitern.

#### 3.3.1 Modellgenerierung und -adaption

Im Rahmen des Dissertationsprojektes ist bereits ein erster Prototyp auf Basis des CMSD Information Model entwickelt worden (Abbildung 5), Details zum Prototyp sind [26], [27] zu entnehmen.

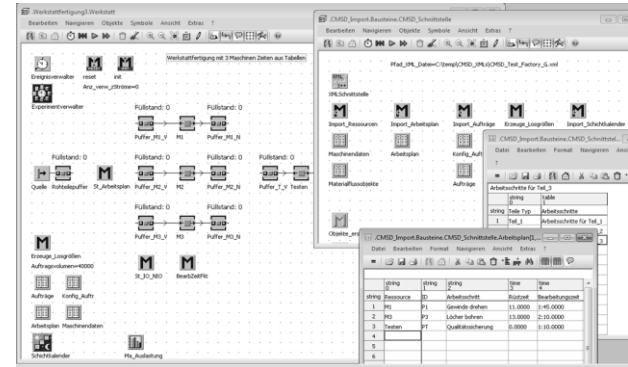


Abbildung 5: Prototyp des Modellgenerators [26]

Ziel ist es, durch konsequente Nutzung des CMSD Standards einen von den Datenquellen unabhängigen Generator bereit zu stellen, der es ermöglicht sowohl planungs- als auch betriebsbegleitend Modelle schnell und in guter Qualität zu erstellen. Dabei ist wichtig, dass möglichst alle relevanten Daten im Standard abgebildet werden, aber auch „manuelle“ Ergänzungen bei einer wiederholten Generierung, z.B. auf Grund des Erreichens eines Planungsmeilensteins oder einem Unterschreiten einer Validitätsschranke im Betrieb, nicht verloren gehen.

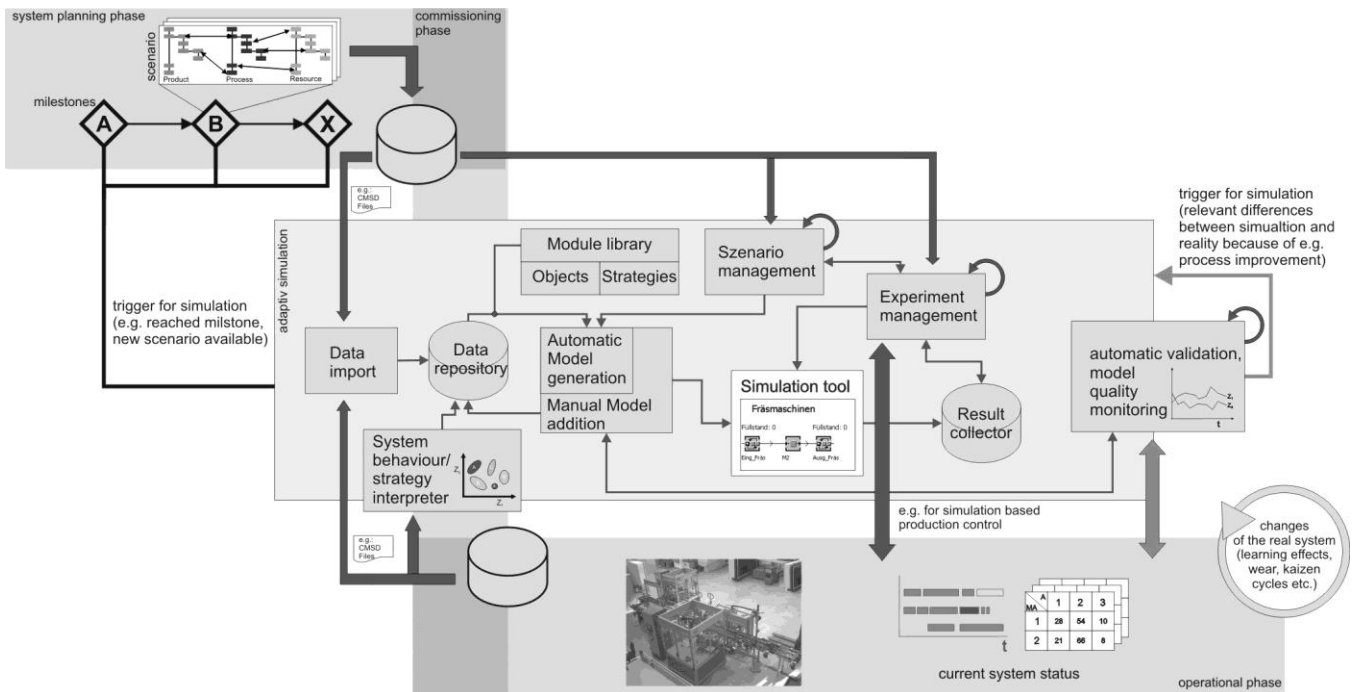


Abbildung 4: Framework zur Modellgenerierung und -adaption

Dazu wird innerhalb des Simulators zum einen eine projektunabhängige Modul Bibliothek (Module library) sowie eine eigene Datenhaltungsschicht (Data repository) implementiert.

Die Modul Bibliothek enthält alle Bausteine, die die Grundlage des Simulationsmodells bilden, dazu zählen neben den grundlegenden Objekten wie Einzelarbeitsplatz, Montagearbeitsplatz, Puffer usw. auch Implementierungen, die das Verhalten näher beschreiben, wie z.B. Steuerstrategien zur Reihenfolgeplanung. In der Datenhaltungsschicht wird die aktuelle Parametrisierung aller Bausteine verwaltet, inklusive aller „manuellen“ Ergänzungen und der Verweise auf die Modul Bibliothek

Die Datenhaltungsschicht und die Modul Bibliothek bilden eine zusätzliche Wissensbasis für die erneute Modellgenerierung bzw. -adaption. Dabei wird in dieser Arbeit unter Adaption die Anpassung eines bestehenden Modells verstanden, ohne dabei einen kompletten Neuaufbau des Modells durchzuführen. Durch Adaption der Modelle wird sowohl eine Kalibrierung, Feinanpassung einzelner Parameter, als auch eine weitreichendere Modifikation eines Modells ermöglicht, um einen lebenszyklusübergreifenden Einsatz zu gewährleisten. Realisiert wird dies über dynamische Anpassungen der Parameter in der Datenhaltungsschicht, die sich online auf das Modell und dessen Verhalten auswirken. Die Werte der Datenhaltungsschicht können dabei entweder aus einem Import von CMSD Daten, Direkteingaben oder aus Modifikationen des Modells in der Entwicklungsumgebung des Simulators stammen.

### 3.3.2 Abbilden des dynamischen Verhaltens

Wie bereits im Kapitel 2 beschrieben ist eines der auffallendsten Probleme die Ermittlung von Steuerstrategien innerhalb eines Systems.

Es lassen sich vier Cluster für Steuerstrategien abgrenzen:

- Strategien zur Auftragsfreigabe
- Strategien zur Reihenfolgeplanung
- Strategien der Losgrößenbestimmung
- Strategien zur Ressourcenauswahl

Alle 4 Cluster sind zu betrachten, wobei im Detail zwischen planungsbegleitenden und betriebsbegleitenden Szenarien unterschieden werden muss.

Im planungsbegleitenden Fall müssen die Regeln durch den Planer oder geeignete Methoden der Datenplausibilisierung hinterlegt werden. Die technische Problematik liegt in der Modellierung und Codierung der Strategien sowie dem Transfer zum und der Implementierung im Simulationsmodell selbst.

Im betriebsbegleitenden Fall kann das zu modellierende System beobachtet werden, im besten Fall ist eine umfassende Betriebsdatenerfassung (BDE) installiert. Auf Basis der Daten können Verfahren zur Anwendung kommen, die das Verhalten automatisch abbilden. Dabei kann grundsätzlich zwischen Ansätzen, die versuchen die Regeln zu ermitteln, z.B. mit Verfahren des Data Mining/ Mustererkennung [13], [15] und Verfahren die die Regel lediglich nachbilden ohne sie direkt zu „erkennen“, z.B. durch Funktionsapproximation mittels Künstlicher Neuronaler Netze (KNN) [28] unterschieden werden. Trotz der schon untersuchten Ansätze ist gerade im Bereich der Abbildung des dynamischen Verhaltens noch erheblicher Forschungsbedarf. In dem weiter zu entwickelnden Prototyp sind

bereits erste einfache Verfahren zu Übermittlung der Steuerstrategien implementiert, des Weiteren existiert ein Prototyp der aus BDE-Daten Regeln mittels KNN approximiert (Abbildung 5).

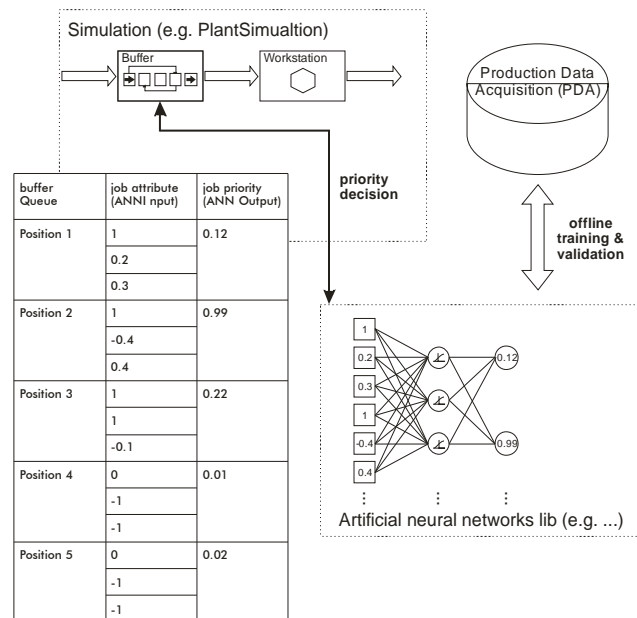


Abbildung 5: Schematische Darstellung eines Prototyps zur Approximation von Reihenfolgeregeln mittels KNN [28]

### 3.3.3 Automatische Validierung

Automatisch generierte Modelle müssen analog zu manuell erstellten Modellen validiert werden. Dabei werden die Kriterien Vollständigkeit, Konsistenz, Genauigkeit, Aktualität, Eignung, Plausibilität, Verständlichkeit, Machbarkeit und Verfügbarkeit geprüft. Dazu sind verschiedenste Vorgehensmodelle, Verfahren und Tests in der Literatur beschrieben [18], [20].

Um wirklich alle Vorteile der automatischen Modellgenerierung zu nutzen, ist auch eine automatische Validierung angebracht. Geeignet zur (Voll-) Automatisierung sind aber bei weitem nicht alle Tests, allein statistische Verfahren sind erfolgsversprechend. Bei statistischen Verfahren werden reale oder von Experten definierte Daten mit Daten aus dem zu testenden Simulationsmodell verglichen, durch die Stochastik usw. in Simulationsmodellen ist ein eins zu eins Vergleich selten machbar. Aus diesem Grund kommen unterschiedliche statistische Verfahren zum Einsatz. Das Spektrum kann dabei auf einfachen Vergleich von Konvergenzintervallen einzelner Kennwerte (z.B. Durchlaufzeiten), über Verfahren, die Hypothesentests (z.B.  $\chi^2$  Test) einsetzen bis hin zu Zeitreihenanalysen reichen. Einzelne Verfahren müssen dazu evaluiert werden, in ersten Tests mit Konvergenzintervallen und Hypothesentests sind noch keine abschließenden Aussagen zu treffen, wobei eine prinzipielle Machbarkeit unter engen Randbedingungen bewiesen ist.

Im Framework zur Modellgenerierung und -adaption soll eine Auswahl von Verfahren implementiert werden, die sowohl eine „Initialvalidierung“, gegen von Experten definierte Erwartungswerte, nach Modellgenerierung ermöglichen aber auch als Auslöser und Qualitätsindikator der Modelladaption dienen. Die permanente Überwachung der Übereinstimmung zwischen Modell und Realsystem (Monitoring) ist einer der essentiellen Bestandteile des gesamten Konzepts. Zu große Abweichungen des

Modellverhaltens von der Realität dienen als Trigger für eine Adaptionrunde. Innerhalb dieser Adaptionrunden muss sichergestellt werden, dass zumindest keine Verschlechterung der Modellqualität hingenommen werden muss, es muss also ein Vergleich der Validität für das „alte“ und die adaptierten „neuen“ Modelle erfolgen. Dabei sollen für alle Validierungen möglichst aktuelle, um extreme „Ausreißer“ bereinigte, Daten des realen Produktionssystems herangezogen werden. Als fortan genutztes Modell soll immer das am besten die Realität abbildende Modell genutzt werden, d.h. das mit der höchsten Validität. Eine Berechnung einer absoluten Modellqualitätskennzahl ist nicht Ziel der Arbeit, allein ein Vergleich hinsichtlich Validität zweier (oder mehrerer) Modelle wird angestrebt.

### 3.3.4 Integration der Simulation und Experimentsteuerung

Wie bereits in Kapitel 3.2 diskutiert sind Daten und deren Abbildung bzw. standardisierte Abbildung ein entscheidender Erfolgsfaktor im Kontext der automatischen Generierung, Adaption, Validierung und Nutzung von Simulationsmodellen.

Immer aktuelle und konsistente Daten lassen sich, mit vertretbarem Aufwand, nur durch eine enge Integration der Simulation in die betriebliche IT-Infrastruktur gewährleisten. Die Simulation kann dabei Datenquelle als auch Nutzer der Daten sein. Oft nicht betrachtet werden Möglichkeiten des Rückspiels von Ergebnisdaten in die ursprünglichen Datenhaltungssysteme [11]. Dies betrifft sowohl Modelländerungen oder Kennwerte, z.B. durchschnittliche Durchlaufzeiten oder maximaler Durchsatz, des Systems, die sich als Ergebnis der Simulationsstudie ergeben, als auch Informationen, die den operativen Betrieb einer Fabrik im Sinne einer simulationsbasierten Fertigungssteuerung unterstützen.

Eine proprietäre Schnittstelle zwischen jedem betrieblichen System und der Simulation ist nicht wünschenswert. Durch die Nutzung des CMSD Standards zum Datenaustausch kann der Implementierungs- und Wartungsaufwand deutlich reduziert werden, da nur je System ein Adapter vorzuhalten ist. Ist das Konzept der Digitalen Fabrik im Unternehmen bereits weitreichend implementiert, reduziert sich der Aufwand nochmals erheblich, da auf die integrierte Datenbasis der Digitalen Fabrik aufgesetzt werden kann.

## 4. Fazit und Ausblick

Die in der Ausgangssituation geschilderten Punkte werden in der Arbeit aufgegriffen. Ziel ist es, eine Methodik zu entwickeln und zu testen, die es ermöglicht, neben der einmaligen Modellgenerierung, unter Nutzung der engen Integration der Simulation in die Unternehmens-IT-Infrastruktur, einen Prozess zu etablieren, der zu einer stetigen Verbesserung der Modellqualität durch die Adaption von Simulationsmodellen auf Basis aktueller (realer) Systemdaten und/oder Planungsdaten führt. Dazu müssen sich die Simulationsmodelle durch den Abgleich mit den vorhandenen Datengrundlagen validieren und hinsichtlich wichtiger Kennwerte aktuell halten. Im Prozess der Modelladaption sind geeignete Methoden vorzusehen, um zumindest eine Verschlechterung des Modells gegenüber dem letzten Stand zu vermeiden (automatische Modellvalidierung). Ebenso wie die automatische Modellgenerierung/-adaption soll auch die automatische Modellvalidierung von der Anbindung der Simulation an die Unternehmens-IT-Infrastruktur profitieren und Daten der Planungssysteme sowie gerade Daten aus den

operativen Systemen der Produktion nutzen. Dies bedingt ein einheitliches Framework als Grundlage der Methodik.

Der hier beschriebene Ansatz soll nicht in Konkurrenz zu anderen aktuellen Arbeiten treten, die sich der Unterstützung der (Konzept-)Modellerstellung und -validierung mittels graphischer Modellierungsansichten, wie z.B. SysML [29] oder der Specification and Description Language (DES) [30] widmen.

Im nächsten Schritt wird der existierende Prototyp vor allem um Funktionalitäten der Initialisierung, Abbildung dynamischen Verhaltens und automatische Tests erweitert werden. Anschließend erfolgt eine Evaluation an möglichst Echtdaten einer Werkstattfertigung.

## 5. Literatur

- [1] ASIM - Arbeitsgemeinschaft Simulation. Fachgruppe Simulation in Produktion und Logistik. <http://www.asim-gi.org/index.php?id=32> Abruf am 09.03.2009.
- [2] VDI- Richtlinien 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen. Berlin: Beuth, 1993.
- [3] Schulz Roland: Parallele und verteilte Simulation bei der Steuerung komplexer Produktionssysteme. Dissertation, TU Ilmenau, 2002.
- [4] Straßburger Steffen, Seidel Holger, Schady Rico, Masik Steffen: Werkzeuge und Trends der digitalen Fabrikplanung - Analyse der Ergebnisse einer Onlinebefragung. In: Wenzel S. (Hrsg.): Proceedings der 12. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik. Kassel, SCS Publishing House, 2006, S. 391-402.
- [5] Eckhardt Frank: Ein Beitrag zu Theorie und Praxis datengetriebener Modellgeneratoren zur Simulation von Produktionssystemen. Aachen, Shaker, 2002.
- [6] Straßburger Steffen, Bergmann Sören: Challenges for the automatic generation of simulation models for production systems. In: Proceedings of the 2010 Summer Simulation Multiconference (SummerSim'10). 11-15. July 2010. Ottawa, Canada, S. 545- 549.
- [7] Banks Jerry: Simulation in the Future. In: Joines J A., Barton R. R., Kang K., Fishwick P. A. (Hrsg.): Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, Orlando, 2000, S. 1568-1576.
- [8] Fowler John W., Rose Oliver: Grand Challenges in Modeling and Simulation of Complex Manufacturing Systems. SIMULATION: The Society for Modeling and Simulation International, 80(9):469–476, 2004.
- [9] Acél Peter Paul: Methode zur Durchführung betrieblicher Simulationen : effiziente Optimierung der diskreten Simulation. Dissertation, ETH Zürich, 1992.
- [10] Müller-Sommer, Hannes; Strassburger, Steffen: Methoden zur Plausibilisierung von Eingangsdaten für Belieferungssimulationen in Logistik-Planungssystemen der Digitalen Fabrik. In: Zülch G., Stock P. (Hrsg.): Proceedings der 14. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik- Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2010, S.61-68.
- [11] Straßburger Steffen, Bergmann Sören, Müller-Sommer Hannes: Modellgenerierung im Kontext der Digitalen Fabrik - Stand der Technik und Herausforderungen. In: Zülch G.,



- Stock P. (Hrsg.): Proceedings der ASIM Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik - Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2010, S. 37-44.
- [12] Wenzel, Sigrid: Modellbildung und Simulation in Produktion und Logistik – Stand und Perspektiven. Dresden: ASIM Workshop, 2009.
- [13] Selke Carsten: Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung. Dissertation, Technische Universität München, 2004.
- [14] Reinhart, Gunther, Gyger, T.: Identification of implicit strategies in production control. In: Proceedings of the Industrial Engineering and Engineering Management, IEEE International Conference, Piscataway(NY), IEEE Press, 2008, S.302-306.
- [15] Xiaonan, Li, Olafsson, Sigurdur: Discovering dispatching rules using data mining. In: Journal of Scheduling, vol. 8, no. 6, 2005, S. 515-527.
- [16] Bracht Uwe, Rooks Tobias, Adrian Roberto: Virtuelle Logistikplanung für die Montage im Rahmen der Digitalen Fabrik. In Advances in Simulation for Production and Logistics Applications, Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, 2008.
- [17] Hotz Ingo: Ein Simulationsbasiertes Frühwarnsystem zur Unterstützung der operativen Produktionssteuerung und -planung in der Automobilindustrie. Dissertation, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, 2007.
- [18] Meyer, Torben, Müller-Sommer Hannes, Straßburger Steffen: Erhöhung der Wiederverwendbarkeit von Eingangsdaten für Belieferungssimulationen durch Expertensysteme. In: Züllich G., Stock P. (Hrsg.): Proceedings der ASIM Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik - Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2010, S. 422-428.
- [19] Balci Osman: Verification, validation and accreditation. In: Banks J (Hrsg.): Handbook of simulation. John Wiley, New York, 1998, S.335-393.
- [20] Sargent Robert G.: Verification and validation of simulation models. In: Kuhl M.E., Steiger N.M., Armstrong F.B., Joines J.A. (Hrsg.): Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, Orlando. SCS International, San Diego, 2005, S. 130-143.
- [21] Rabe Markus, Spieckermann Sven, Wenzel Sigrid: Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik – Vorgehensmodelle und Techniken. Berlin: Springer 2008.
- [22] Rooks, Tobias: Rechnergestützte Simulationsmodellgenerierung zur dynamischen Absicherung der Montagelogistikplanung bei der Fahrzeugneutypplanung im Rahmen der Digitalen Fabrik. Clausthal: Dissertation, TU Clausthal, 2009.
- [23] Spieckermann Sven: Diskrete, ereignisorientierte Simulation in Produktion und Logistik – Herausforderungen und Trends. In: Schulze, T.; Horton, G.; Preim, B.; Schlechtweg, S. (Hrsg.): Simulation und Visualisierung, Magdeburg, 2005.
- [24] Ehm Hans, McGinnis Leon, Rose Oliver: Are simulation standards in our future? In: Rossetti, M. D.; Hill, R. R.; Johansson, B.; Dunkin, A.; Ingalls, R. G. (Hrsg.): Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, Austin, 2009
- [25] SISO - Simulation Interoperability Standards Organization: Standard for: Core Manufacturing Simulation Data – UML Model. Core Manufacturing Simulation Data Product Development Group, 2009.
- [26] Bergmann Sören, Straßburger Steffen: Generierung und Integration von Simulationsmodellen unter Verwendung des Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) Information Model. In: Züllich G., Stock P. (Hrsg.): Proceedings der ASIM Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik - Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2010, S. 461-468.
- [27] Fiedler, Alexander: Automatisierte Generierung von Simulationsmodellen unter Verwendung des Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) Information Model - Implementierung eines Pilotszenarios. Digitale Bibliothek Thüringen, 2010, <http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=16712> , Stand: 24.01.2011.
- [28] Bergmann Sören, Stelzer Sören: Approximation of dispatching rules in manufacturing control using artificial neural networks. PADS ACM/IEEE/SCS Workshop on Principles of Advanced and Distributed Simulation (PADS 2011), Nizza (Frankreich) [Beitrag eingereicht]
- [29] Schönherr Oliver, Rose Oliver: Modellierung mit SysML zur Abbildung von Produktionsprozessen. In: Züllich G., Stock P. (Hrsg.): Proceedings der ASIM Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik - Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010, S. 453-460.
- [30] Fonseca Casa Pau: Using Specification and Description Language to define and implement discret simulation models. In: Proceedings of the 2010 Summer Simulation Multiconference (SummerSim'10). 11-15. July 2010. Ottawa, Canada, S. 419- 426.